

**OPTIMALISASI WAKTU GESEK TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN
STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS METODE *FRICTION*
WELDING BAHAN SILINDER PEJAL LOGAM AISI 1045 DAN SS 403**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

TUMAR

D 200 160 118

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**OPTIMALISASI WAKTU GESEK TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN
STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS METODE *FRICTION*
WELDING BAHAN SILINDER PEJAL LOGAM AISI 1045 DAN SS 403**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

TUMAR

D 200 160 118

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen
Pembimbing



Ir. Bibit Sugito, M.T.

NIDN. 0616106001

HALAMAN PENGESAHAN

OPTIMALISASI WAKTU GESEK TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS METODE *FRICTION* *WELDING* BAHAN SILINDER PEJAL LOGAM AISI 1045 DAN SS 403

**OLEH
TUMAR
D 200 160 118**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 19 Januari 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- 1. Ir. Bibit Sugito, M.T.
(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Nurmuntaha Agung Nugraha, S.T., M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)**
- 3. Ir. Sunardi Wiyono, M.T.
(Anggota II Dewan Penguji)**


.....

.....

.....



Ir. Sri Sunariono, M.T., Ph.D., IPM.

NIK. 682

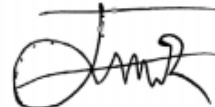
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti adak ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 28 Januari 2021

Penulis



TUMAR

D 200 160 118

OPTIMALISASI WAKTU GESEK TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS METODE *FRICTION WELDING* BAHAN SILINDER PEJAL LOGAM AISI 1045 DAN SS 403

Abstrak

Metode pengelasan tradisional yang digunakan untuk menyambung bahan yang berbeda sulit untuk dilakukan karena perbedaan dari komposisi kimia, struktur kristal dan titik lelehnya, tetapi dapat dilakukan dengan metode pengelasan *solid state*, yaitu dengan metode *Friction Welding*. *Disimilar Friction Welding* adalah proses penyambungan dua material logam dengan menggunakan panas yang dihasilkan dari perubahan energi mekanik kedalam energi panas pada permukaan benda yang digesekkan serta logam yang digunakan memiliki perbedaan dari karakteristik sifat mekanik, struktur mikro, komposisi kimia dan titik lebur logam. Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah baja AISI 1045 dan SS 403 karena memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, sedikit ulet dan tangguh. Proses pengelasan dilakukan dengan memvariasi waktu gesek sebesar 4 detik, 6 detik, dan 8 detik. Gesekan dilakukan dengan mesin friction welding putaran 1450 rpm. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekuatan tarik, pengujian struktur mikro, dan pengujian kekerasan vickers. Hasil pengujian tarik menjelaskan bahwa kekuatan tarik bergerak naik seiring bertambahnya waktu gesek yang digunakan. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh dari variasi waktu gesek 8 detik dengan nilai 343,2 MPa, dan kekuatan tarik terendah pada variasi waktu gesek 4 detik sebesar 293,7 MPa. Pengujian kekerasan menjelaskan bahwa dari ketiga variasi waktu gesek nilai kekerasan tertinggi terletak disekitar weld line dibandingkan daerah HAZ dan logam induk. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki pada daerah weld line dengan waktu gesek 4 detik sebesar 427,98 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah pada daerah HAZ baja dengan waktu gesek 4 detik sebesar 173,62 VHN. Dari pemeriksaan struktur mikro ukuran butir pada daerah weld line lebih kecil dan lebih halus dari daerah HAZ dan material induk. Dari semua variasi waktu gesek, waktu yang sesuai adalah 8 detik.

Kata kunci : AISI 1045 dan SS 403, *Dissimilar*, Waktu gesek, Kekuatan tarik, Struktur mikro, Kekerasan *vickers*

Abstract

The traditional welding method used to join different materials is difficult to do because of differences in chemical composition, crystal structure and melting point, but can be done by the solid state welding method, namely the Friction Welding method. Disimilar Friction Welding is the process of joining two metal materials by using heat generated from the change in mechanical energy

into heat energy on the surface of the object being rubbed and the metal used has differences in the characteristics of mechanical properties, microstructure, chemical composition and metal melting point. In this research, the material used is steel AISI 1045 and SS 403 because it has properties that can be modified, a little ductile and tough. The welding process was carried out by varying the friction time of 4 seconds, 6 seconds, and 8 seconds. Friction is carried out by means of a 1450 rpm friction welding machine. The tests carried out are tensile strength testing, microstructure testing, and vickers hardness testing. The results of the tensile test show that the tensile strength increases with increasing friction time. The highest tensile strength is obtained from the variation of the friction time of 8 seconds with a value of 343.2 MPa, and the lowest tensile strength at the variation of the friction time of 4 seconds is 293.7 MPa. The hardness test explains that of the three variations of the friction time, the highest hardness value is located around the weld line compared to the HAZ areas and the parent metal. The highest hardness value is in the weld line area with a friction time of 4 seconds of 427.98 VHN, while the lowest hardness value is in the HAZ area of steel with a friction time of 4 seconds of 173.62 VHN. From the microstructure examination, the grain size in the weld line area is smaller and finer than the HAZ area and the parent material. Of all the variations in the friction time, the appropriate time is 8 seconds.

Keywords: AISI 1045 and SS 403, Dissimilar, friction time, tensile strength, microstructure, hardness of vickers

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Inovasi komponen yang terbuat dari sambungan logam berbeda jenis (*dissimilar*) menjadi sangat penting dalam aplikasi dunia industri. Banyak keuntungan yang diperoleh dari penyambungan logam beda jenis, keuntungan teknis seperti membuat produk dengan sifat yang diinginkan dan manfaat dalam area ekonomi produksi. Penyambungan logam berbeda jenis umumnya sulit dilakukan karena perbedaan termal, fisik, sifat metalurgi, dan mekanik dari masing-masing logam. Untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal kualitas penyambungan logam harus tinggi.

Proses yang paling sering dilakukan dalam penyambungan logam adalah pengelasan. Pada proses pengelasan dikenal dengan dua metode yaitu menggunakan panas yang berasal dari nyala api las (*fusi*) dan menggunakan panas yang tidak berasal dari nyala api las (*difusi*). Pengelasan gesek atau

friction welding (FW) merupakan salah satu metode pengelasan yang telah dikembangkan oleh seorang ahli mesin dari Uni Sovyet, [AL Chudikov pada tahun 1950]. Kedua metode tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pengelasan dengan menggunakan nyala api las (*fusi*) prosesnya sangat sulit. Masalah yang sering timbul dari proses pengelasan yang menggunakan nyala api las (*fusi*) seperti perubahan bentuk sifat material, distorsi, dan perubahan struktur mikro. Metode pengelasan dengan menggunakan nyala api las juga memiliki kekurangan saat mengelas logam silinder pejal. Karena pengelasan hanya bisa dilakukan di permukaan, sementara bagian dalam logam silinder pejal belum tersambung [Hakim, dkk. (2018)].

Dengan pengelasan yang tidak menggunakan nyala api las (*difusi*) maka masalah seperti sulitnya proses pengelasan, perubahan sifat material, *distorsi*, dan perubahan struktur mikro tidak terjadi. Sambungan juga akan lebih presisi atau *center* dibandingkan dengan pengelasan yang menggunakan nyala api las (*fusi*). Karena proses penyambungan menggunakan cekam untuk menahan benda kerja sehingga posisi benda kerja dapat lurus dengan benda kerja lainnya. Berdasarkan uraian diatas maka banyak industri yang menggunakan metode pengelasan yang tidak menggunakan nyala api las (*difusi*), seperti industri perakitan, elektronik, *manufaktur*, *aerospace*, dan industri luar angkasa.

Friction welding (*difusi*) adalah teknik pengelasan dengan kondisi logam lumer. Penyambungan logam menggunakan *friction welding* memanfaatkan panas yang timbul dari gesekan antara permukaan logam yang diberi gaya tekan. Gesekan yang terjadi antara permukaan kedua logam menghasilkan panas sehingga permukaan kedua logam melumer dan terjadi penyambungan [Serope & Steven R. Oswald, Kalpakjian, 2001]. *Friction welding* mulai banyak dilirik karena teknologinya yang mudah dioperasikan, proses penyambungan tergolong cepat, mampu menyambungkan logam yang mempunyai *weldability* buruk serta penyambungan tidak menggunakan *filler*. Beberapa penyambungan yang tidak dapat dilakukan dengan teknik pengelasan

lainnya karena terbentuknya *fase* getas yang terjadi saat pengelasan membuat sifat mekanis sambungan logam menjadi semakin berkurang dapat dilakukan dengan *friction welding*. Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan *fusion welding* (Alfian Ferry Ardianto, 2015).

Parameter penting pada proses *friction welding* adalah kecepatan putar, tekanan gesek, tekanan tempa, waktu gesek, dan waktu tempa. Parameter tersebut akan berpengaruh pada sifat mekanis sambungan logam. Kualitas sambungan juga akan mempengaruhi elemen yang akan diteliti seperti kekuatan tarik, struktur mikro, dan kekerasan.

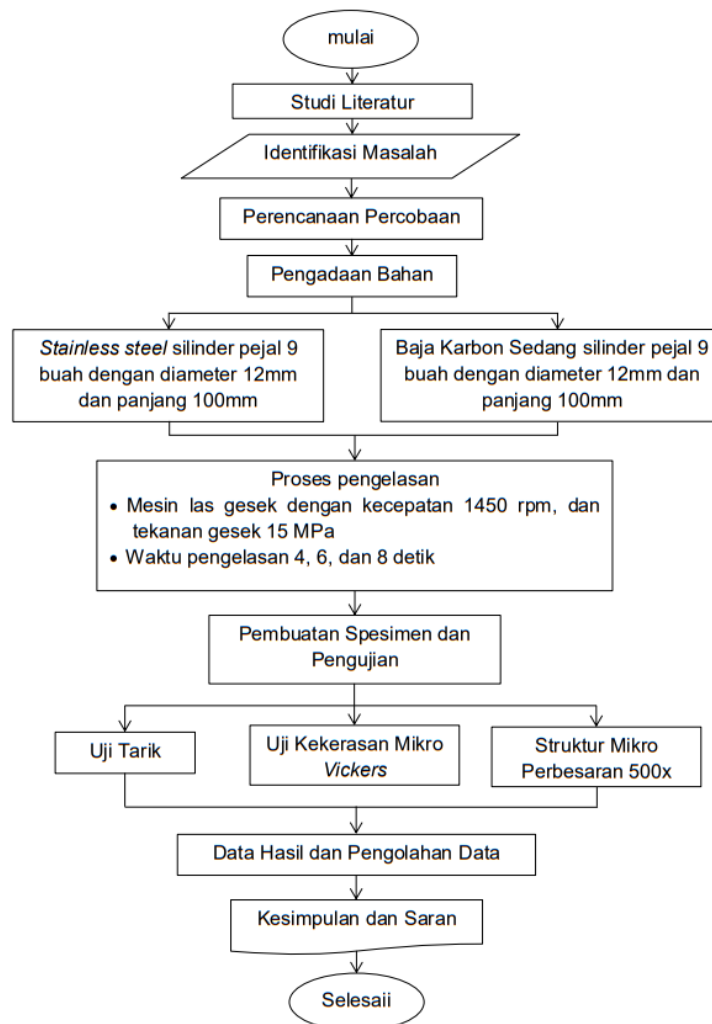
Penelitian yang berjudul pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik dan mikro pada sambungan AISI 1010-ASTM dengan B22. yang dilakukan oleh (Kurt, dkk. 2017) mendapatkan hasil dimana kekuatan tarik dari sambungan las dapat mencapai 70% dari kekuatan tarik logam dasar. Nilai kekerasan paling tinggi didapat dari *interface* masing-masing logam, tetapi menurun dengan meningkatnya jarak dari *interface* dan waktu tempa.

Yanni dan Sun, (2018), menyebutkan dalam penelitiannya yang bertujuan untuk mengetahui mikro struktur dan sifat mekanik sambungan tembaga-baja dengan metode *friction welding*. Hasilnya kekuatan tarik meningkat dengan meningkatnya tekanan gesek, tetapi menurun karena tekanan gesek yang terlalu besar. Kekerasan meningkat seiring bertambahnya jarak dari *interface*, tetapi menurun seiring naiknya tekanan gesek. 3 Dari penelitian yang sudah dilakukan terdapat perbedaan kekerasan yang dihasilkan dari sambungan logam beda jenis (*dissimilar welding*) silinder pejal *stainless steel* dan baja dengan metode *friction welding*.

Hal ini menjadi alasan kuat bagi penulis untuk meneliti terutama penulis menerapkan variasi waktu yang berbeda, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang **“Optimalisasi Waktu Gesek Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Sambungan Las Metode *Friction Welding* Bahan Silinder Pejal Logam AISI 1045 Dan SS 403”**.

2 METODE

2.1 Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Prosedur Penelitian

2.1.1 Bahan Penelitian

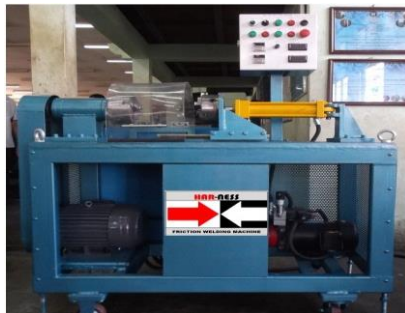
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah silinder pejal baja karbon sedang dan *stainless steel*. Baja AISI 1045 termasuk dalam baja karbon sedang karena memiliki kadar karbon 0.45%. pengaplikasiannya biasanya dalam pembuatan komponen permesian dimana dapat dilakukan dengan cara pengelasan gesek. Sedangkan Stainless Steel 403 merupakan baja tahan karat memiliki resistansi tinggi terhadap korosi pada berbagai macam lingkungan. Elemen paduan utama

adalah kromium dengan konsentrasi minimal 11% Cr. Ketahanan korosi juga dapat ditingkatkan dengan tambahan nikel dan molybdenum.



Gambar 2. Silinder Pejal AISI 1045 dan SS 403

2.1.2 Alat Penelitian



Gambar 3. Mesin Las Gesek



Gambar 4. Mesin Uji Tarik



Gambar 5. Mikro Vickers
Hardness Tester



Gambar 6. Mikroskop
Struktur Mikro



Gambar 7. *Metallographic
Cutting Machine*



Gambar 8. *Grinding and
Polishing Machine*

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengujian

3.1.1 Analisa Data Hasil Pengujian Tarik

Pada analisa perhitungan hanya mengambil satu sampel dari variasi waktu gesek yaitu diambil nilai rata-rata dari setiap sambungan. Untuk hasil perhitungan pengujian tarik dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 1. Hasil Rata-Rata Pengujian Tarik

No	Material	<i>Out Dia</i> (mm)	Panjang Awal (mm)	<i>Force</i> <i>Maximum</i> (N)	Pertambahan Panjang (mm)	Tegangan <i>Maximum</i> (N/mm ²)	Regang an (%)
1	Raw Baja Karbon Sedang	6	25	7000	5,3	247,7	21,2
2	<i>Raw Stainless Steel</i>	6	25	18500	7,1	654,6	28,4
3	Samb. 4 detik	6	25	8300	0,75	293,7	3
4	Samb. 6 detik	6	25	9050	1,53	320,2	6,12
5	Samb. 8 detik	6	25	9700	2,14	343,2	8,56
6	Rata-rata samb. 4, 6, dan 8 detik			9016,67	1,47	319,03	5,89

3.1.2 Analisa Data Uji Kekerasan dan Analisa

Setelah dilakukan pengujian, didapat hasil nilai uji kekerasan mikro *vickers* tiap spesimen yang kemudian dibuat dalam bentuk table. Pada analisa perhitungan hanya mengambil satu sampel dari variasi waktu gesek yaitu diambil nilai rata-rata dari ketiga sambungan. Untuk hasil perhitungan pengujian kekerasan dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 2. Hasil Rata-Rata Pengujian Kekerasan Mikro *Vickers*

No	Material	Lokasi	Jarak titik dari 0 (mm ²)	Diagonal rata-rata bekas jejak indenter (mm ²)	Kekerasan (VHN)
1	Raw Baja Karbon Sedang			0,4545	269,25
2	<i>Raw Stainless Steel</i>			0,452	272,24
3	Sambungan 1	<i>Haz SS</i>	2,5	0,4565	257,79
		Las	0	0,3605	427,98
		<i>Haz Baja</i>	-2,5	0,4565	173,62
4	Sambungan 2	<i>Haz SS</i>	2,5	0,4645	266,9
		Las	0	0,4315	298,72
		<i>Haz Baja</i>	-2,5	0,502	213,01
5	Sambungan 3	<i>Haz SS</i>	2,5	0,455	268,66
		Las	0	0,45	274,67
		<i>Haz Baja</i>	-2,5	0,506	217,24

3.2 Analisa / Pembahasan

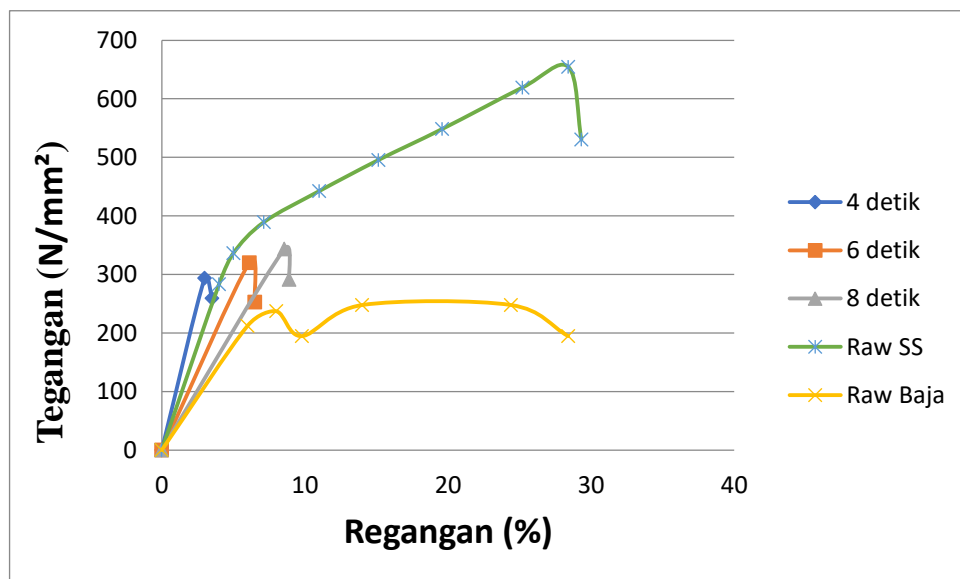
3.2.1 Raw material

Pada tabel hasil uji tarik menunjukkan bahwa nilai tegangan (σ) dan regangan (ϵ) *raw* material baja karbon lebih kecil dibandingkan dengan *raw stainless steel*. Tetapi kedua material tersebut pada dasarnya memiliki nilai tegangan (σ) dan regangan (ϵ) yang besar, yang artinya sifat dari *raw* material adalah ulet. Disamping itu bentuk perpatahan disini adalah bentuk patah ulet, yang menandakan bahwa material ini tangguh atau saat diuji tarik *raw* material memberikan peringatan lebih dulu sebelum terjadinya kerusakan. Pada bahan tangguh, kekuatan putus umumnya lebih kecil dari pada kekuatan maksimumnya.

3.2.2 Sambungan 1 – Sambungan 3

Jika dilihat dalam sebuah grafik dan dibandingkan dengan hasil tegangan regangan material induk, sambungan las 1-3 menunjukkan bahwa nilai tegangannya kecil ($\sigma <$) dan nilai regangannya juga kecil ($\epsilon <$) yang artinya sifat dari sambungan baja karbon sedang dengan *stainless steel* adalah getas, walaupun pada dasarnya bahan *stainless steel* dan baja karbon sedang itu bersifat tangguh. Disamping itu bentuk perpatahan disini adalah bentuk patah getas karena hasil penampang patah pada semua sambungan *stainless steel* dan baja karbon sedang, yang artinya kekuatan putusnya adalah sama dengan kekuatan maksimumnya.

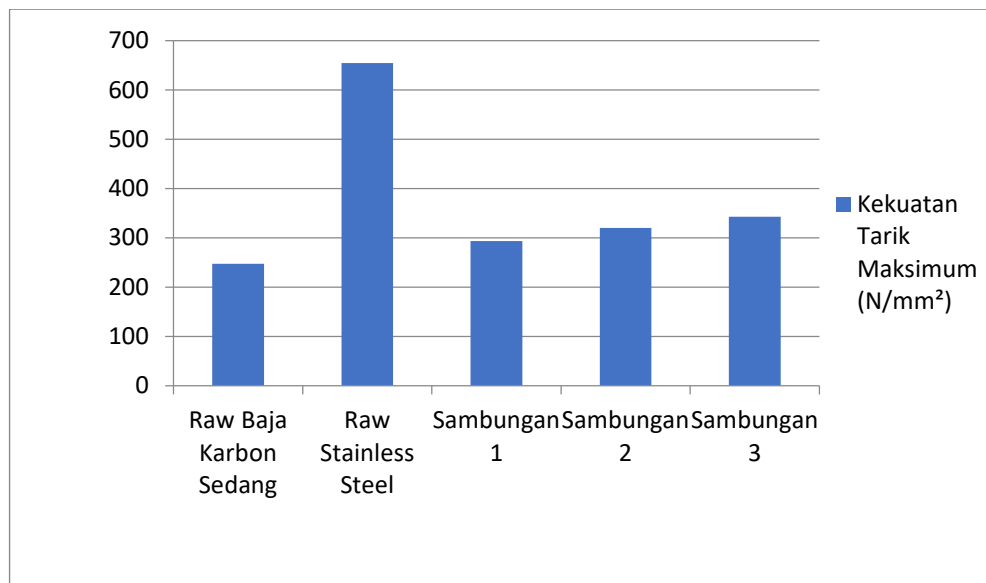
Dari semua data dapat kita buat grafik perbandingan dari *raw material*, sambungan 1 sampai sambungan 3. Untuk melihat grafik selisih dari kesemuanya.



Gambar 9. Diagram Tegangan-Regangan Dari *Raw Material* Sampai Ketiga Sambungan Las

Terlihat bahwa dari semua hasil sambungan las rata-rata hanya memiliki tegangan tarik sebesar 319,1 N/mm², dan rata-rata regangan yang dihasilkan adalah sebesar 5,89 %. Nilai tegangan dan regangan pada hasil lasan dengan *raw material* baja karbon sedang dan *raw material stainless steel* berbeda. Nilai tegangan dan regangan pada hasil lasan dengan *raw material*

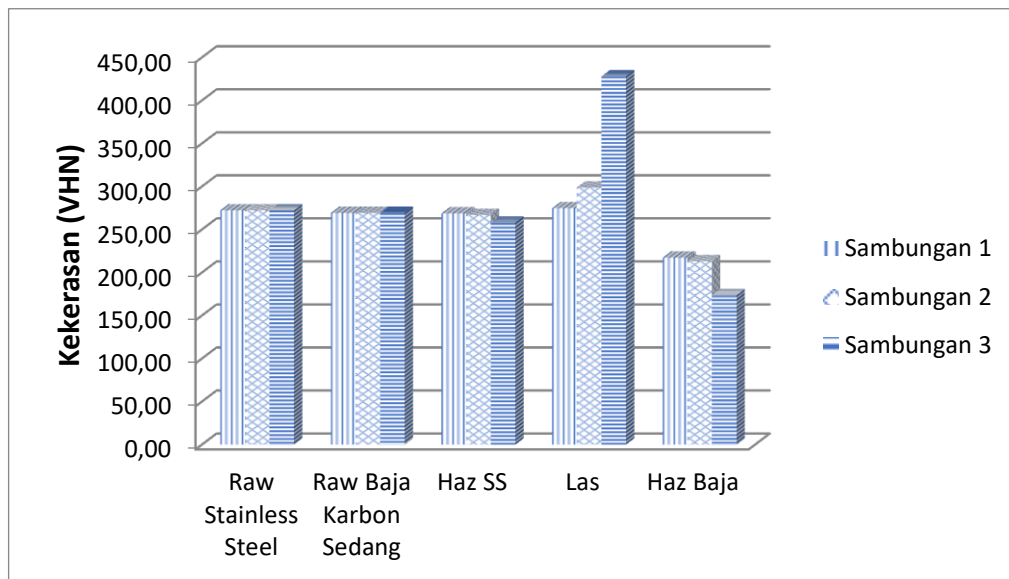
baja karbon sedang memiliki selisih nilai tegangan sekitar 71,4 N/mm² dan selisih nilai regangan sebesar 15,31%. Begitu pula nilai tegangan dan regangan pada hasil lasan dengan *raw material stainless steel* sangat berbeda jauh yakni memiliki selisih nilai tegangan sekitar 335,5 N/mm² dan selisih regangan sebesar 22,67%. Selanjutnya, agar perbandingan selisih nilai tegangan tarik terlihat lebih jelas, dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 10. Histogram Kekuatan Tarik Maksimum

Adanya perbedaan waktu gesek saat dilakukan pengelasan gesek menyebabkan perbedaan kekuatan tarik pada hasil sambungan. Hal ini nantinya juga akan berpengaruh dengan luas daerah yang mengalami perubahan struktur mikro. Semakin lama gesekan yang terjadi, daerah yang mengalami perubahan struktur mikro juga semakin besar. Hal mengenai perubahan struktur mikro akan kita bahas pada bahasan struktur mikro.

3.2.3 Uji Kekerasan



Gambar 11. Nilai Kekerasan Pada Sambungan

Grafik uji kekerasan diatas menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi terletak disekitar sambungan (*weld line*). Hal ini disebabkan oleh adanya pemanasan sekaligus kekerasan lebih tinggi dibandingkan daerah *HAZ* dan logam induk. Daerah yang hanya mengalami pemanasan butirnya akan membesar sehingga kekerasannya berkurang. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki pada daerah las-lasan dengan waktu gesek 8 detik sebesar 427,98 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah pada daerah *HAZ* baja dengan waktu gesek 8 detik sebesar 173,62 VHN.

Pada titik 0 atau pada bagian las-lasan, terlihat bahwa semakin lama waktu gesek maka nilai kekerasannya semakin meningkat. sedangkan pada daerah *HAZ stainless steel* maupun *HAZ* baja karbon sedang, semakin lama waktu gesek saat proses pengelasan gesek dengan jarak 2,5mm dari titik 0 nilai kekerasannya mengalami penurunan. Dari Gambar 11. tersebut dapat dilihat perbedaan kekerasan yang menyolok secara kasar antara kekerasan daerah sambungan dengan kekerasan daerah logam induk.

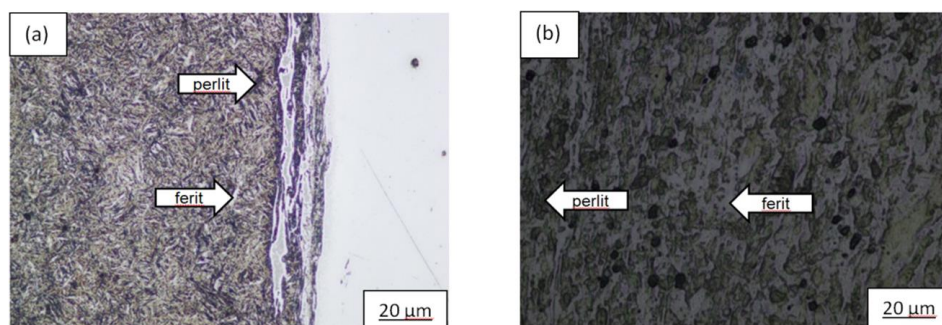
Jika kita lihat kembali struktur mikro pada daerah sambungan maka kita dapat melihat hubungan struktur mikro dengan kekerasan didaerah sambungan. Pada *weld line* memiliki butir yang paling halus, sehingga memiliki kekerasan

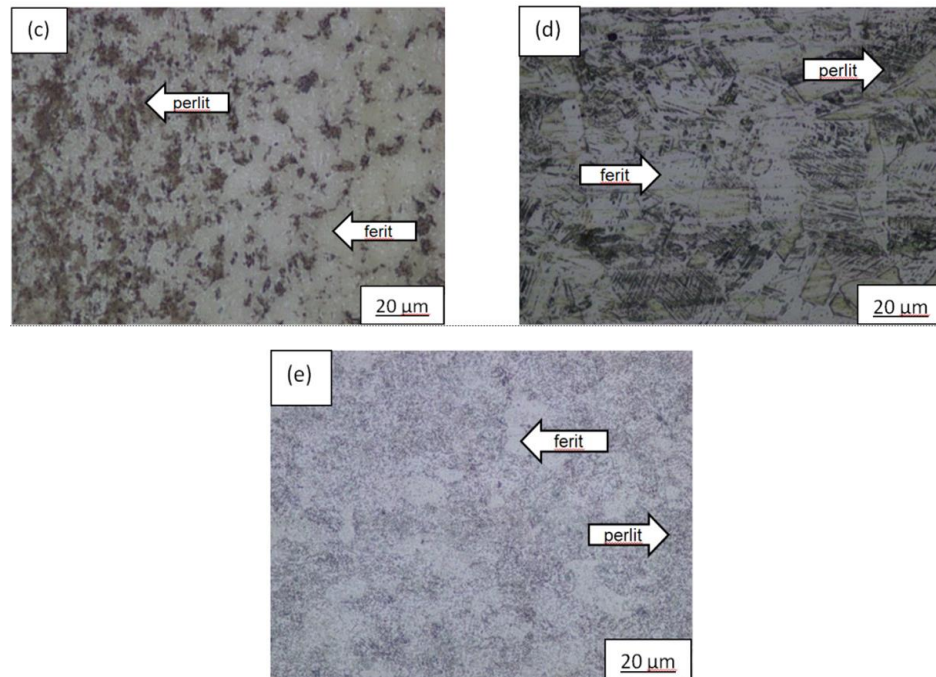
yang paling tinggi. Hal ini sejalan dengan teori dimana kekerasan sangat dipengaruhi oleh besar butir dari material. Untuk material yang sama bila ukuran butirnya berbeda maka kekerasan juga berbeda. Kekerasan akan meningkat dengan semakin kecilnya batas butir. Menurut teori batas butir merupakan bagian yang menghambat gerakan *dislokasi* dari suatu material. Dengan semakin kecil butir maka semakin banyak batas butir yang tercipta pada material tersebut. Artinya semakin banyak pula penghalang atau penghambat gerakan dislokasi. Jika gerakan *dislokasi* terhambat maka material sulit dideformasi. Sehubungan dengan nilai kekerasan yang merupakan ketahanan suatu material terhadap deformasi tetap, maka semakin halus butir pada suatu material dia akan memiliki ketahanan terhadap deformasi tetap. Dengan kata lain semakin halus butir maka nilai kekerasannya semakin tinggi.

3.2.4 Uji Foto Struktur Mikro

Pengamatan yang dilakukan disini adalah pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada daerah logam induk, daerah terkena panas atau *heat affective zone (HAZ)*, dan daerah sambungan las *weld line*. Foto perbesaran yang diambil disini adalah 500 X. Dari pengamatan struktur mikro ini, dapat dilihat hasil struktur yang terkandung dari hasil pengelasan. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan struktur mikro:

1. Struktur Mikro Hasil Pengelasan Dengan Waktu Gesek 4 Detik

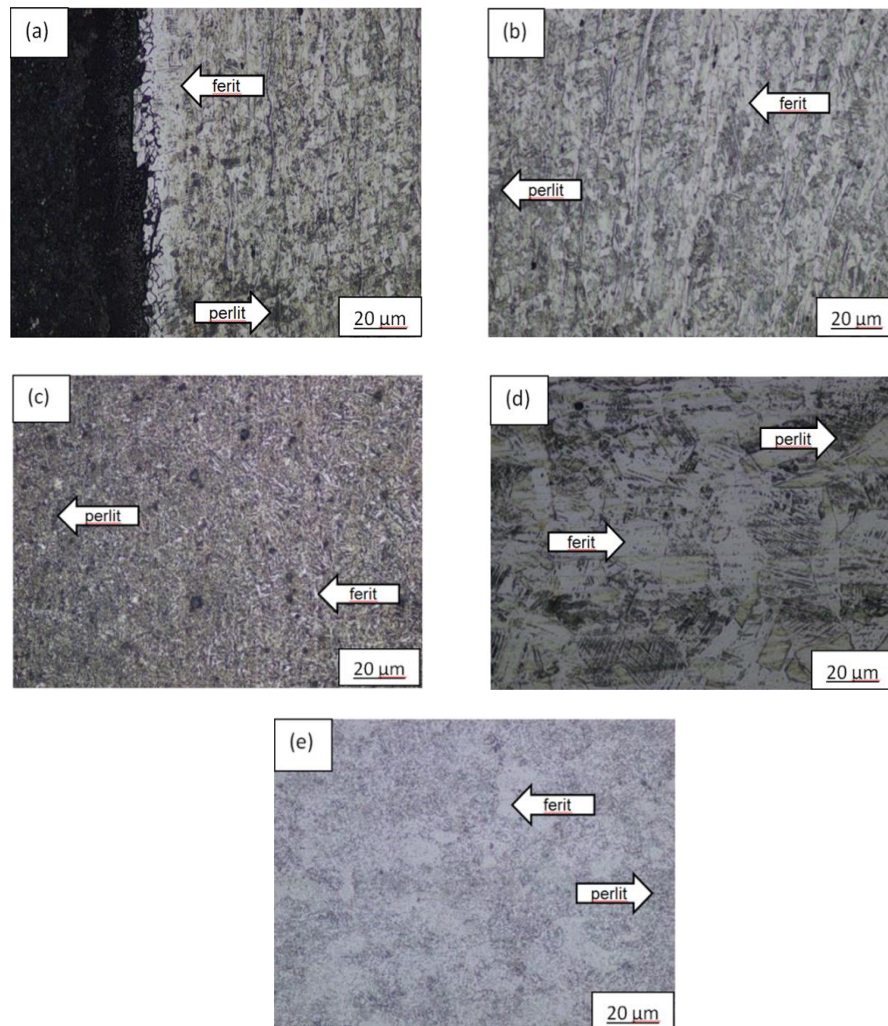




Gambar 12. Struktur Mikro Daerah (a) *Weld Line*, (b) *Haz Stainless Steel*, (c) *Haz Baja*, (d) *Raw Stainless Steel*, (e) *Raw Baja* (Pembesaran 500 x)

Dari gambar 12. struktur mikro hasil pengelasan dengan waktu gesek 4 detik belum mengalami banyak perubahan. Butiran berfasa *ferrite* dan *pearlite* yang terlihat pada daerah *heat affected zone (HAZ)* baja AISI 1045 material memiliki kemiripan dengan struktur mikro pada logam induk. Padahal daerah *heat affected zone (HAZ)* mendapatkan perlakuan yang berbeda pada pengelasan yang berlangsung, dengan adanya perlakuan yang berbeda maka daerah ini seharusnya memiliki struktur mikro yang berbeda dari logam induknya. Karena pemanasan maupun proses penempaan akan dapat merubah struktur mikro. Menurut Husodo dkk (2012), yang meneliti tentang penerapan teknologi las gesek (*friction welding*) dalam proses penyambungan dua buah pipa logam baja karbon rendah. Mengatakan bahwa struktur mikro pada sambungan tidak banyak terjadi perubahan struktur mikro, yang berarti tidak banyak terjadi perubahan sifat mekanik.

2. Struktur Mikro Hasil Pengelasan Dengan Waktu Gesek 6 Detik

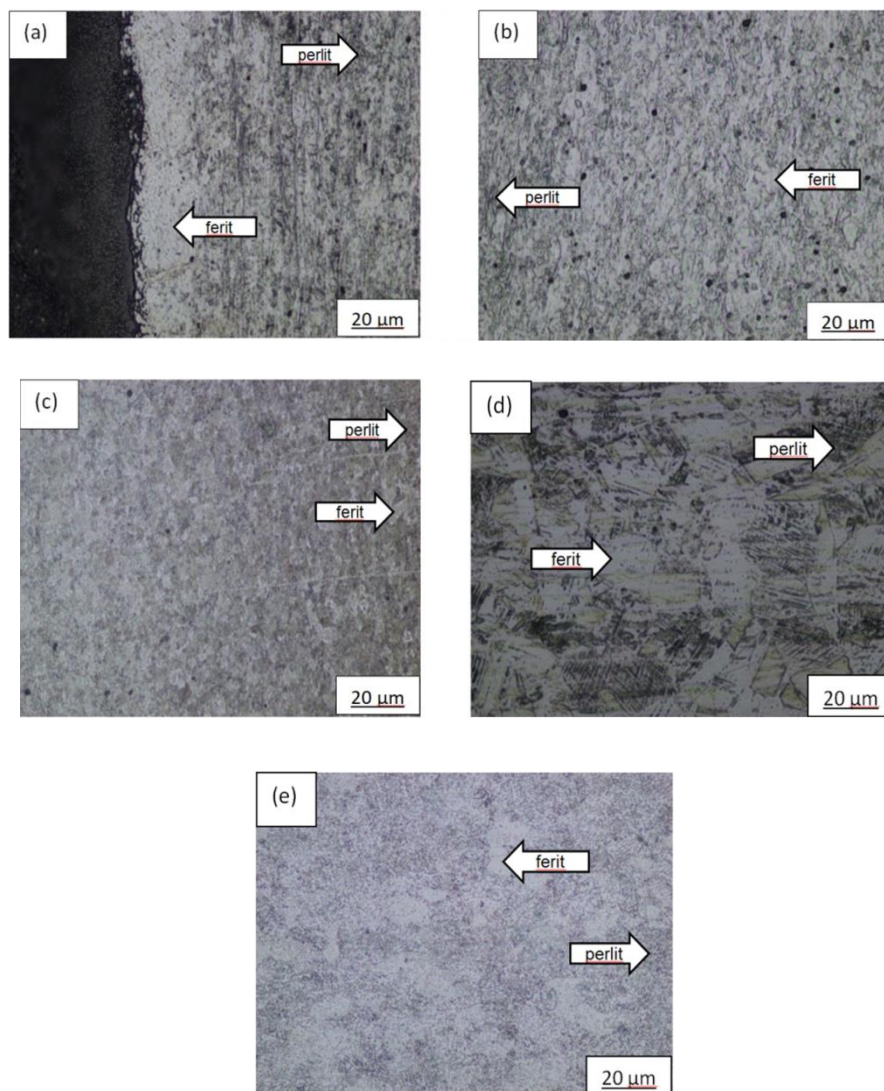


Gambar 13. Struktur Mikro Daerah (a) *Weld Line*, (b) *Haz Stainless Steel*, (c) *Haz Baja*, (d) *Raw Stainless Steel*, (e) *Raw Baja* (Pembesaran 500 x)

Dari gambar 13. struktur mikro hasil pengelasan dengan waktu gesek 6 detik sudah mengalami perubahan dibandingkan dengan struktur mikro hasil pengelasan dengan waktu gesek 4 detik. Pada gambar tersebut lebih jelas terlihat perbedaan struktur pada daerah *weld line* dengan logam induk. Pada logam induk terlihat struktur kristal atau butir yang bentuknya *equiaksial* kasar. Pada struktur ini kelihatan dengan jelas butirannya. Sedangkan struktur pada *weld line* terlihat struktur *equiaksial* yang lebih halus. Jika diamati lebih

lanjut pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* memiliki besar butir diantar logam induk dan *weld line* dari kenyataan tersebut maka dapat dilihat terdapat perbedaan besar dan susunan butir pada daerah *weld line*, *HAZ* dan logam induk. Hal ini dapat dimengerti karena adanya pengaruh panas dan perambatan panas yang terjadi pada *interface* dan besarnya deformasi yang terjadi pada daerah tersebut.

3. Struktur Mikro Hasil Pengelasan Dengan Waktu Gesek 8 Detik



Gambar 14. Struktur Mikro Daerah (a) *Weld Line*, (b) *Haz Stainless Steel*, (c) *Haz Baja*, (d) *Raw Stainless Steel*, (e) *Raw Baja* (Pembesaran 500 x)

Dari Gambar 14. dapat dilihat bahwa pada daerah sambungan las *Stainless Steel* 403 dengan baja AISI 1045 terdapat butiran-butiran halus yang berfasa *ferrite* dan *pearlite*. Butiran kecil yang terlihat di daerah las *Stainless Steel* 403 dengan baja AISI 1045 butirannya semakin halus di daerah sambungan karena memiliki kecepatan pendinginan yang tinggi. Sedangkan pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* butirannya lebih besar. Ukuran butir meningkat karena masukan panas dan kecepatan pendinginan yang rendah. Struktur mikro fasa *ferrite* dan *pearlite* terlihat jelas pada logam induk atau *base metal* dengan susunan butirnya besar sehingga material ini bersifat ulet.

Bila diamati lagi arah susunan kristal butir pada hasil setruktur mikro sambungan pengelasan gesek (*friction welding*) dengan variasi waktu gesek 4 detik, 6 detik, dan 8 detik terlihat pola aliran susunan butir material selama proses pengelasan. Susunan butir kristal menunjukkan pola aliran logam yang mengalami puntiran. Pola ini terbentuk karena adanya pengaruh pemutaran pada batang sehingga pada permukaan batang mengalami puntiran, dan terjadi deformasi selama proses yang merupakan gabungan tekanan dan pemuntiran.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari analisis dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada hasil uji tarik pengelasan gesek bahan *Stainless Steel* 403 dengan baja AISI 1045 semuanya mengalami patah getas, besarnya waktu gesek yang digunakan sangat berpengaruh pada hasil yang diperoleh. Dengan waktu gesek 4 detik, 6 detik, dan 8 detik kekuatan tarik mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu gesek yang digunakan. Namun setelah kekuatan tarik mencapai titik maksimumnya, kekuatan tarik mulai mengalami penurunan dengan besarnya tekanan yang diberikan. Variasi waktu gesek 8 detik memiliki kekuatan tarik tertinggi sebesar 343,2 MPa, dan kekuatan tarik terendah pada variasi waktu gesek 4 detik sebesar 293,7 MPa..

2. Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh adanya perbedaan kekerasan pada daerah lasan (*weld line*) dengan daerah logam induk dan daerah *HAZ* (*heat affected Zone*). Daerah lasan (*weld line*) memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah *HAZ* (*heat affected zone*) dan material induk. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki pada daerah las-lasan (*weld line*) dengan waktu gesek 4 detik sebesar 427,98 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah pada daerah *HAZ* (*heat affected zone*) baja dengan waktu gesek 4 detik sebesar 173,62 VHN.
3. Dari hasil pemeriksaan struktur mikro di daerah sambungan, terlihat bila besar butir pada daerah lasan (*weld line*), *HAZ* (*heat affected zone*) dan logam induk berbeda. Pada daerah lasan (*weld line*) ukuran butir lebih kecil dibandingkan dengan daerah *HAZ* (*heat affected zone*) dan material induk.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Sebelum melakukan penekanan baut pegunci *tailstock* harus dikencangkan agar *tailstock* tidak goncang sehingga benda uji tetap center.
2. Setiap melakukan pengelasan bersihkan benda kerja dari kotoran / debu sehingga gesekan yang terjadi dapat menimbulkan panas secara baik.
3. Pada saat proses pengelasan gesek perlu ditambahkan *detector* suhu panas untuk mengetahui suhu saat terjadi *flash* dengan menggunakan alat sensor panas.
4. Sebaiknya *panel control* tekanan diganti dengan yang bisa diatur tekanannya. Sehingga pada saat penelitian tidak sering mengulang percobaan yang disebabkan kekurangan atau kelebihan tekanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Rn, S. and Surendran, S. 2012. *Friction Welding to Join Dissimilar Metals, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(7), pp. 200–210. India: IIT Madras.
- Anam, K., Syuhri, A. and Sutjahjono, H. 2018. *Pengaruh Waktu Tempa Dan Tekanan Tempa Terhadap Sifat Mekanik Aisi 1045 Pada Proses Friction Welding*, 1, pp. 95–99. Jember: Universitas Jember.
- Harsono, S., dan Toshie, O. 1991. *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Faisal, M., Balfas, M. and Kamil, K. 2018. *Analisis Kekuatan Tarik pada Logam Axle Shaft dengan Pengelasan Gesek (Friction Welding)*, 19(1), pp. 25–30. Makassar: Universitas Muslim Indonesia.
- Gita Firmansyah, M. R., Solichin, S. and Poppy Puspitasari, R. 2019. *Analisis Kecepatan Putar, Durasi Gesek dan Tekanan Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Gesek (Friction Welding)*, *Jurnal Teknik Mesin dan Pembelajaran*, 1(2), p. 1. doi: 10.17977/um054v1i2p1-5. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Hakim, L. 2017. *Pengaruh Variasi Tekanan Gesek Terhadap Kekuatan Tarik Struktur Mikro Dan Kekerasan Sambungan Las Metode Continuous Drive Friction Welding Bahan Silinder Pejal Logam Stainless Steel 304*, *Jurnal Teknik Mesin dan Pembelajaran* pp. 1–10. Yogyakarta: Universitas Muhamadiyah Yogyakarta.
- Hariandja Binsar. 1997. *Mekanika Bahan dan Pengantar Teori Elastisitas*, Erlangga, Jakarta.
- Husodo, N. *et al.* 2014. *Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk Back Spring Pin*, *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 6(1), pp. 43–52. Denpasar: Universitas Udayana.
- Haikal, Margono, B., and Wibowo, J. 2020. *Pengaruh Tekanan dan Waktu Pengelasan pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Sambungan Logam Tak Sejenis antara AISI 316 dan AISI 4140*, *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, pp. 19–20. Surakarta: Akademik Teknologi Warga Surakarta
- Prabowo, A. 2017. *Pengaruh Waktu Penelasan Terhadap Kualitas Sambungan Las Magnesium AZ31 dan Aluminium AL 13 Dengan Metode Pengelasan Friction Welding* (Skripsi) Oleh Ardian Prabowo’.
- Supardi, Rachmat. 1967. *Pengetahuan Material*. Tarsito, Bandung.

- Romadhan, A. R. *et al.* 2019. ***Sifat Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las Gesek Tak Sejenis Baja-Tembaga***, *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 3(1), pp. 20–27. doi: 10.18196/jmpm.3133. Yogyakarta: Universitas Muhamadiyah Yogyakarta.
- Surdia, Tata dan Saito Sinroku. 1991. ***Pengetahuan bahan teknik***, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Satyadianto, D. 2015. ***Las Gesek (Friction Welding) Dengan Menggunakan Baja Effect of Friction Pressure , Forge Pressure , and Friction Time Variation To Impact Strength in Friction Welding Joint Using Aisi 4140 Alloy***. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Maulana, F. 2017. ***Karakteristik Pengelasan Disimilar Baja AISI 4140 dengan Metode Friction Welding***, Tugas Akhir. Universitas Jember. Jember., pp. 1–99.
- Solihin, I. *et al.* 2017. ***Pengaruh waktu kontak terhadap kualitas sambungan hasil las gesek (Friction Welding) Magnesium AZ-31***, *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 10(1), pp. 4–7. Lampung: Universitas Lampung.